The University of Tehran Press

Natural Resources Governance
Home Page: https://jnrg.ut.ac.ir/

Online ISSN: 3060-7183

Optimal Governance of Water Resources Based on the Ecological Water Footprint Approach

Rafat Zare Bidaki[1*] | Sahar Norozi Ghaletaki[2]

1. Corresponding Author, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Sharekord University, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran. Email: Zare.rafat@sku.ac.ir
2. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Sharekord University, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran.

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received 03 November, 2024
Revised 10 November, 2024
Accepted 15 December, 2024
Published online 21 November 2024

Keywords:
Self-Sufficiency Index,
Virtual Water,
Water Consumption Index,
Water Efficiency,
Water Governance.

ABSTRACT

Water governance has emerged to develop, allocate, and manage water resources efficiently to ensure environmental sustainability. Water governance in agriculture is essential due to the importance of sustainability and food security for a growing population, in the face of challenges such as climate change. Therefore, paying attention to the virtual water is one of the dimensions of optimal water governance. Groundwater resources mainly due to the agricultural development has been depleted in Chaharmahal-va-Bakhtiari province in Iran. This study examined virtual water and the ecological footprint of water in the province. The results of the annual net water requirements and virtual water of crops from 2011 to 2019 showed that Lordegan County is more suitable for wheat cultivation, Borujen and Lordegan for barley cultivation, and Ben County for potato cultivation and wheat has the highest internal ecological footprint. The external ecological footprint of these products is zero due to the lack of imports to the province. The water self-sufficiency index in the province is 100 percent with respect to major crops. The water consumption index of wheat, barley, and potatoes was calculated as 4.65, 8.16, and 6.17, respectively. Although the water resources of Chaharmahal-va-Bakhtiari province can be sufficient to produce and meet major agricultural needs, with low productivity and high ecological footprint, it is suggested to import some crops from other provinces. Finally, the study showed that the consequences of ignoring water and natural resource governance issues have resulted in reduced base flows, severe aquifer depletions and degradation of surface and groundwater quality in this province.

Cite this article: Zare Bidaki, R. & Norozi Ghaletaki, S. (2024). Optimal Governance of Water Resources Based on the Ecological Water Footprint Approach. *Natural Resources Governance*. 1 (3), 238-252.

DOI: http//doi.org/10.22059/jnrg.2024.384331.1023

© Rafat Zare Bidaki, Sahar Norozi Ghaletaki **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jnrg.2024.384331.1023

نشریهٔ حکمرانی منابع طبیعی
سایت نشریه: https://jnrg.ut.ac.ir/
شاپا الکترونیکی: ۷۱۸۳- ۳۰۶۰
انتشارات دانشگاه تهران

حکمرانی بهینهٔ منابع آب براساس رویکرد ردپای اکولوژیک آب

رفعت زارع بیدکی[1*] | سحر نوروزی قلعه‌تکی[2]

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی طبیعت دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، چهارمحال و بختیاری، ایران. رایانامه: Zare.rafat@sku.ac.ir
۲. گروه مهندسی طبیعت دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، چهارمحال و بختیاری، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۰۱

کلیدواژه:
شاخص خودکفایی،
آب مجازی،
شاخص مصرف آب،
بهره‌وری آب،
حکمرانی آب.

چکیده

حکمرانی آب به‌منظور توسعه، تخصیص و مدیریت منابع آب به‌صورت کارآمد و تضمین پایداری محیط زیستی، ظهور کرده است. مدیریت آب در بخش کشاورزی به دلیل اهمیت پایداری و امنیت در تأمین غذا برای جمعیت رو به رشد، در تقابل با چالش‌های فزاینده از جمله تغییر اقلیم ضروری است. توجه به آب مجازی از ابعاد حکمرانی بهینه آب است. استان چهارمحال و بختیاری با توسعه کشاورزی به منابع آب زیرزمینی خسارت زده است. در این تحقیق به بررسی آب مجازی و ردپای اکولوژیکی آب در این استان پرداخته شد. نتایج حاصل از بررسی نیاز آبی خالص سالانه و آب مجازی محصولات از ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ نشان داد که شهرستان لردگان برای کشت گندم، بروجن و لردگان برای کشت جو و شهرستان بن برای کشت سیب‌زمینی مناسب‌تر هستند. گندم بیشترین میزان ردپای اکولوژیکی داخلی را داراست. ردپای اکولوژیکی خارجی این محصولات به‌علت نبود واردات به استان صفر است. شاخص خودکفایی آب در استان با توجه به محصولات عمدهٔ زراعی ۱۰۰ درصد است. شاخص مصرف آب گندم، جو و سیب‌زمینی به‌ترتیب ۶۵/۴، ۱۶/۸ و ۱۷/۶محاسبه شد. اگرچه منابع آب استان چهارمحال و بختیاری می‌تواند برای تولید و رفع نیازهای عمدهٔ کشاورزی، کافی باشد، اما با داشتن بهره‌وری پایین و ردپای اکولوژی بالا، بهتر است برخی محصولات زراعی از استان‌های دیگر وارد شود. در نهایت، تحقیق نشان داد پیامد نپرداختن به مسائل حکمرانی آب و حکمرانی منابع طبیعی، کاهش جریان‌های پایه، کسری شدید آبخوان‌ها و تنزل کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در این استان است.

استناد: زارع بیدکی، رفعت و نوروزی قلعه تکی، سحر (۱۴۰۳). حکمرانی بهینهٔ منابع آب براساس رویکرد ردپای اکولوژیک آب. *نشریهٔ حکمرانی منابع طبیعی*، ۱ (۳) ۲۳۸-۲۵۲.
DOI: http//doi.org/10.22059/jnrg.2024.384331.1023

© رفعت زارع بیدکی، سحر نوروزی قلعه تکی
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/jnrg.2024.384331.1023

۱. مقدمه

یکی از اساسی‌ترین چالش‌های سال‌های اخیر را می‌توان مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب دانست. منابع آب مهم‌ترین منبع تجدیدپذیر و محور توسعه است (Ding, 2005; Liner, 2009). مدیریت ضعیف و ناپایدار (نه محدودیت‌های واقعی و فیزیکی عرضه)، مسبب مسائل و مشکلات موجود هستند (Stratton, 2008; Angeles, 2011; Ewaid et al.,2020)، اما در حقیقت بدون اصلاح حکمرانی آب در تمام سطوح مدیریتی و بهره‌برداری، نمی‌توان به بهبود شرایط و حل معضلات امید داشت. مشارکت جهانی آب (GWP) در مجمع جهانی آب در سال ۲۰۰۰ بیان کرد که بحران آب، اغلب بحرانی حاکمیتی است و حکمرانی آب از مهم‌ترین اولویت‌ها برای اقدام است (Rogers & Hall, 2003). مدیریت مؤثر منابع طبیعی مشترک، مستلزم نظام‌های حکمرانی است که با ویژگی‌های آن منابع همسو باشد (Olivier & Vallury, 2024). حکمرانی آب، کارکرد اجتماعی است که توسعه و مدیریت منابع آب و ارائهٔ خدمات آب را در سطوح مختلف جامعه تنظیم و منبع را به‌سمت وضعیت مطلوب هدایت می‌کند. نظام حکمرانی آب مجموعهٔ به‌هم‌پیوسته‌ای از عناصر سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و اداری است که وظیفهٔ حکمرانی را انجام می‌دهد (Pahl-Wostl, 2015). حکمرانی آب، ساختارهای متفاوتی به خود می‌گیرد و حکمرانی خوب با تعامل و مشارکت همهٔ ذی‌مدخلان از نهادها و سازمان‌های دولتی تا مردم و بهره‌برداران بخش خصوصی محقق خواهد شد (Miranda et al., 2011). امروزه توجه به نظام حکمرانی آب نه‌تنها در مورد منابع آب سطحی و زیرزمینی (آب آبی) بلکه در مدیریت آب سبز و جوی نیز توصیه می‌شود (Wierik et al., 2020).

بخش کشاورزی در جهان و ایران بزرگ‌ترین مصرف‌کنندهٔ آب معرفی می‌شود. متوسط جهانی نشان‌دهندهٔ تخصیص بیش از ۷۰ درصد از کل منابع آب مصرفی به بخش کشاورزی است (Foley et al., 2011)؛ این در حالی است که در ایران و با توجه به شرایط قرارگیری آن در منطقه‌ای خشک، این نسبت در حدود ۹۳ درصد برآورد شده است (موسوی و همکاران، ۲۰۰۹). موقعیت جغرافیایی ایران از طرفی و رشد فزایندهٔ جمعیت، تخریب منابع، نیاز به محصولات کشاورزی و دامی برای تأمین غذا و محدودیت منابع آب و خاک حاصلخیز از طرف دیگر سبب شده موضوع کم‌آبی مشکلی جدی در بخش‌های مختلف معرفی شود (پوران و همکاران، ۲۰۱۷). حدود ۹۲ درصد تولیدات کشاورزی ایران از کشتزارهای آبی حاصل می‌شوند (Nouri et. Al, 2023). مدیریت ناکارآمد آب در بخش کشاورزی پیامدهای جبران‌ناپذیری چون افت آب‌های زیرزمینی، کاهش شدید کیفیت منابع آب، تخصیص نیافتن جریان زیست‌محیطی و تعارض‌های اجتماعی به بار می‌آورد (Babaei et al., 2019; Bijani et al., 2020; Moshirpanahi et al., 2022). همواره تلاش برای بهبود مدیریت آب کشاورزی مدنظر بوده است و محققان گزینه‌هایی چون بهبود آبیاری سطحی، نوسازی روش‌های آبیاری و افزایش بهره‌وری را پیشنهاد کرده‌اند (Radmanesh et al., 2023). در این راستا توجه به مفهوم آب مجازی و بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی می‌تواند به شناخت نقص‌ها و شکاف‌های موجود برای رسیدن به حکمرانی درست آب کمک کند.

آب مجازی[1] را در تعریف نخست می‌توان کل مقدار آب مصرف‌شده برای تولید یک واحد کالای مربوط به بخش کشاورزی یا غیرکشاورزی دانست. این شاخص به‌عنوان یکی از شاخص‌های مربوط به ارزیابی بهره‌وری آب در سطوح مختلف مانند سطوح منطقه‌ای، ملی یا بین‌المللی توسط آلن[2] (۱۹۹۸) مطرح شد. نیاز نداشتن به ساخت‌وساز خطوط لوله برای انتقال آب در قسمت‌های مختلف، ایجاد مخازن و نیز کم بودن هزینه‌های انتقال آب، سبب توسعه و گسترش مفهوم تجارت آب مجازی در بخش‌های مختلف شد (Tian, 2013). در نخستین دیدگاه مفهوم آب مجازی بین بخش‌های مختلفی نظیر بخش صنعت، کشاورزی، اجتماعی و اقتصادی بررسی شد (Shi & Zhan, 2015). تجارت آب مجازی را می‌توان معیار و ابزاری اساسی در بحث محاسبهٔ مقدار مصرف واقعی آب در یک کشور در نظر گرفت. تجارت آب مجازی در طول ۴۰ سال اخیر به‌طور دائم در حال افزایش و گسترش بوده است. حدود ۱۵ درصد آب مصرف‌شده در مقیاس جهانی در قالب آب مجازی در حال صادرات است.

ازآنجا که در سطح جهان کنونی، کشاورزی بزرگ‌ترین بخش اقتصادی از لحاظ مصرف آب شناخته شده است، تجارت محصولات مربوط به بخش کشاورزی جزء اصلی تجارت آب مجازی شناخته می‌شود (دهقانپور و بخشوده، ۲۰۰۷). ایران جزو ۲۵

1 Virtual Water
2 Allan

کشوری است که بیشترین کسری جریان زیست‌محیطی را دارند و از نظر سرانهٔ ردپای آب در رتبهٔ دوم قرار دارد (Mekonnen & Hoekstra, 2020). گراهام[1] و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی برآورد کردند که با توجه به تغییرات پیش رو، تجارت آب مجازی تا سال ۲۱۰۰ می‌تواند تا سه‌برابر افزایش یابد. توجه ویژه به موضوع تجارت آب مجازی می‌تواند یکی از راهکارهای سودمند به‌منظور مبارزه با پدیدهٔ کم‌آبی باشد (Lenzen et al., 2012). صالح‌نیا و باستانی (۲۰۱۸) به بررسی و ارزیابی تجارت محصولات باغی و زراعی با تأکید بر آب مجازی پرداختند. نتایج نشان داد که در سال ۱۳۹۳ ایران از طریق ورود محصولات مختلف زراعی و باغی به کشور در حدود ۹۷۱۹/۳۵ میلیون مترمکعب آب را حفظ کرده است. بخشوده و دهقانپور (۲۰۱۵) در منطقهٔ پژوهشی مرودشت، الگوی کشت را با تأکید بر بیشینه کردن واردات آب مجازی و نیز سود خالص اجتماعی مربوط به محصولات کشاورزی منتخب از طریق فرمولاسیون خطی بهینه‌سازی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که محصول گندم از جنبهٔ واردات آب مجازی و محصول گوجه‌فرنگی از نظر اشتغال حائز اهمیت است. عربی یزدی و همکاران (۲۰۰۹a) بیان کردند که خرما و بعد از آن حبوبات و دانه‌های روغنی بیشترین مقدار آب مجازی و صیفی‌جات کمترین مقدار آب مجازی را به خود اختصاص دادند.

در محاسبه و ارزیابی آب مجازی مربوط به محصولات کشاورزی پارامتر دیگری به نام ردپای بوم‌شناختی آب[2] شامل منابع آب داخلی و منابع آب خارجی نیز مطرح است. ردپای بوم‌شناختی را می‌توان میزان اثری که تولید یک محصول در بخش کشاورزی بر منابع آب می‌گذارد تعریف کرد (Chapagain et al. 2006; Mekonnen & Hoekstra, 2010). ردپای اکولوژیک آب در هر کشور را می‌توان شامل دو مؤلفهٔ داخلی و خارجی دانست. آن مقدار از منابع آب داخلی کشور (منطقه) را که برای تولید کالا، خدمات و استفادهٔ عمومی مصرف می‌شوند ردپای اکولوژیک آب داخلی می‌نامند. حجمی از منابع آب را که از کشورها و مناطق دیگر به کشور وارد و برای مصارف داخلی آن کشور (منطقه) مصرف می‌شود، ردپای اکولوژیک آب خارجی می‌نامند (احسانی و همکاران، ۲۰۰۹).

تحقیقات متعددی دربارهٔ بررسی و محاسبهٔ آب مجازی و ردپای اکولوژیک آب در ایران و جهان انجام گرفته است. سالاری و همکاران (۲۰۱۴) تغییرات مکانی و زمانی مقدار آب مجازی محصول کشاورزی گندم را به‌عنوان یکی از محصولات راهبردی استان سیستان و بلوچستان بررسی کردند. میانگین ۱۲ سالهٔ آب مصرفی خالص به‌منظور تولید محصول گندم در استان ۳۰۳ میلیون مترمکعب برآورد شد که ۹/۲ درصد آن با آب سبز تأمین شده است. مقدار خالص آب مجازی بین مقادیر ۱/۵۹ در شهرستان خاش تا ۶/۱۸ در شهرستان زابل برحسب مترمکعب بر کیلوگرم دارای تغییر است. خرمی وفا و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که در منطقهٔ کوزران در کرمانشاه، مقدار آب مجازی برای کشت گندم در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ برای بازده آبیاری برابر با ۱۰۰، ۴۰ و ۳۲ درصد به‌ترتیب برابر با ۲۲۰۲، ۳۵۲۳ و ۳۶۹۹ مترمکعب و برای ذرت برابر با ۲۴۱۷، ۳۸۶۷ و ۴۰۶۰ مترمکعب بر تن بوده است. همچنین بررسی و ارزیابی ردپای اکولوژیکی آب برای گندم در حدود ۳۷۶۲ مترمکعب در هکتار و برای ذرت حدود ۴۱۸۱ مترمکعب در هکتار برآورد شد. بذرافشان و گرکانی‌نژاد مشیزی (۲۰۱۸) در منطقهٔ پژوهشی استان هرمزگان میانگین وزنی شاخص ردپای آب به‌منظور کشت و تولید محصول گوجه‌فرنگی را ۰/۹۳۶ مترمکعب در کیلوگرم به‌دست آوردند.

آبابایی و رمضانی اعتدالی (۲۰۱۴) مقدار آب مجازی برای تولید گندم در ایران را برای دامنهٔ زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۲ در حدود ۳۱۸۸ و ۳۰۷۱ مترمکعب بر تن به‌ترتیب برای گندم آبی و گندم دیم برآورد کرده و مقدار کل ردپای آب مجازی برای تولید گندم در ایران را ۴۲۱۴۳ میلیون مترمکعب در سال محاسبه کردند. چوچانه و همکاران (۲۰۱۵) در تونس ردپای اکولوژیکی آب‌های سبز، آبی و خاکستری را برای دورهٔ زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ به دست آوردند. آنها تولیدات اقتصادی (تولید محصولات کشاورزی) را نیز ارزیابی کردند. بازده آب تولیدات زراعی، بیشترین سهم (۸۷ درصد) را در کل ردیابی آب‌های ملی به دست آورد. در سطح ملی، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی محصولات اصلی، با بهره‌وری آب زیست‌محیطی به‌نسبت زیاد بودند. درحالی که زیتون و جو، محصولات اصلی، با بهره‌وری به‌نسبت کم بودند. از لحاظ بهره‌وری اقتصادی زمین، پرتقال بیشترین بهره‌وری و جو کمترین بهره‌وری را داشتند.

1 Graham
2 Water foot print

مجتبوی و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که دشت قزوین از مهم‌ترین مناطق تولیدکننده محصولات کشاورزی در ایران است که با بحران کمبود آب مواجه شده است. کل میزان ردپای آبی دشت قزوین، در حدود ۲۰۵۰ میلیون مترمکعب در سال به دست آمد و ردپای آب سبز، آبی، خاکستری و سفید به‌ترتیب ۳۱، ۲۵، ۲ و ۴۲ درصد تخمین زده شد. داشتن ۴۴ درصد کل ردپای آبی، به‌عنوان مجموع ردپای خاکستری و سفید نشان‌دهندهٔ کم‌آبیاری و کمبود مصرف کود نیتروژن است. این پژوهش نشان می‌دهد که پذیرش مفهوم تجارت آب مجازی و استفاده از ردپای آبی برای برنامه‌ریزی و مدیریت آب کشاورزی می‌تواند به توسعهٔ پایدار کمک کند. اویسی و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی ردپای مجازی آب در تولید گندم در استان اصفهان پرداختند. آنها نشان دادند که در سال‌های اخیر به‌دلیل افزایش جمعیت، اصفهان از صادرکنندهٔ آب مجازی به واردکنندهٔ آب مجازی تبدیل شده است. اوید و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی صادرات و واردات آب مجازی را از طریق تجارت گندم در عراق محاسبه کردند و بیان داشتند که عراق از واردات گندم در آن سال بیش از ۴۶ میلیون مترمکعب آب صرفه‌جویی کرده است. سبزقبایی و همکاران (۲۰۲۱) نیاز خالص آبی محصول، ردپای بوم‌شناختی خارجی و داخلی دو محصول گندم و برنج را با روش بالا به پایین در استان خوزستان محاسبه کردند. در نتایج این تحقیق مقدار نیاز ویژه آبی و بهره‌وری آب دو محصول برنج و گندم به تفکیک شهرستان ارائه شده است.

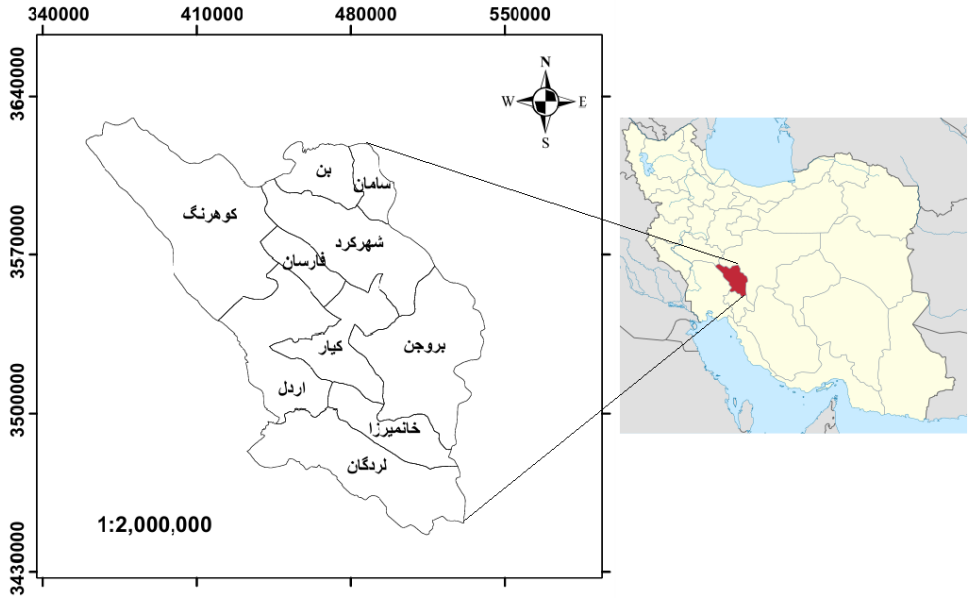
لیو و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی در شمال غرب چین نتیجه گرفتند که افزایش جمعیت از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ سبب افزایش ردپای آب ناشی از مصرف غذای بیشتر به میزان ۰/۴ درصد سالانه شده است. آنها همچنین نشان دادند که ردپای مصرف آب شهروندان در شهرها نسبت به روستاها از ۸۰ تا ۱۲۰ درصد افزوده شده است (Liu et al., 2019). ژانگ و همکاران (۲۰۲۱) نیز در تحقیق دیگری در چین به این نتیجه رسیدند که تجارت آب مجازی کمبود منابع آبی در دلتای رودخانه زرد را تشدید می‌کند؛ زیرا صادرات آب مجازی بیشتر از واردات بوده است. به‌طور خاص، کشاورزی با صادرات ۱۱۷/۲ کیلومتر مهم‌ترین بخش صادرات آب مجازی و بیشترین جهت آب مجازی به منطقهٔ شمال غرب چین (۴۵/۴ درصد) بوده است (Zhang et al., 2021). جایاسیری و همکاران (۲۰۲۲) در سریلانکا بر اثربخشی حکمرانی آب در امنیت آب و غذا تأکید کردند (Jayasiri et al., 2022).

بهبود حکمرانی آب در ایران نیز می‌تواند برای ارتقای تصمیم‌گیری مؤثر و کاهش پیامدهای نامطلوب نبود مدیریت منابع آب به‌خصوص در بخش کشاورزی مؤثر باشد. در زمینهٔ حکمرانی خوب منابع آب، برخی راهکارها از جمله بهینه‌سازی الگوی کشت و حسابداری آب پیشنهاد شده است. بهینه‌سازی الگوی کشت با توجه به ردپای اکولوژیک آب و مصرف آب مجازی محصولات در همین زمینه ضروری است. بررسی این‌گونه شاخص‌ها در هر منطقه سبب آشکارسازی مقدار مصرف آب توسط هر محصول از آغاز تا پایان تولید محصول خواهد شد. بررسی آب مجازی محصولات سبب می‌شود در هر منطقه با توجه به شرایط آب‌وهوایی محصولاتی کشت شوند که مصرف آب کمتری داشته باشند. از این‌رو در این تحقیق به بررسی شاخص‌هایی مانند آب مجازی، ردپای بوم‌شناختی، شاخص شدت مصرف آب و شاخص خودکفایی آب با هدف بهبود حکمرانی آب در شهرستان‌های استان چهارمحال و بختیاری پرداخته شده است.

۲. روش‌شناسی

استان چهارمحال و بختیاری با مساحتی در حدود ۱۶۴۰۳ کیلومتر مربع در بخش مرکزی رشته‌کوه زاگرس قرار دارد. این استان بین عرض ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقهٔ شمالی و ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقهٔ طول شرقی واقع است. متوسط بارندگی در استان ۵۶۰ میلی‌متر است (فتوحی فیروزآباد و افخمی اردکانی، ۲۰۲۲). این استان پرآب‌ترین استان ایران شناخته می‌شود، اما در سال‌های اخیر نشانه‌هایی از کمبود آب در آن دیده می‌شود. برداشت سالانه ۳۵۹/۶ میلیون مترمکعب آب زیرزمینی که بیش از ۸۷ درصد آن برای مصارف کشاورزی استخراج شده، سبب پیامدهایی چون فرونشست زمین و لوله‌زایی در استان چهارمحال و بختیاری شده است (تقی‌پور جاوی و بریمانی، ۲۰۲۳). گسترش کشاورزی برای تأمین نیازهای غذایی مردم و ایجاد شغل و رونق اقتصادی نیازمند بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی است، اما منابع آب توسعه‌ناپذیرند و در معرض بهره‌برداری بی‌رویه قرار دارند. با این‌حال برنامه‌ریزی هوشمندانه در زمینهٔ حکمرانی صحیح آب می‌تواند بر روند تخلیهٔ منابع آب

اثرگذار باشد. برای اتخاذ تصمیم درست در بهره‌برداری از منابع آب در کشاورزی توجه به مقدار مصرف آب هر محصول و ردپای اکولوژیکی آن لازم است.



شکل ۱. موقعیت استان چهارمحال و بختیاری به‌همراه شهرستان‌های استان

در استان چهارمحال و بختیاری محصولات عمدهٔ زراعی گندم، جو و سیب‌زمینی است. سطح زیر کشت گندم، جو و سیب‌زمینی برحسب هکتار، مقدار تولید محصولات زراعی برحسب تن و عملکرد محصولات برحسب کیلوگرم به تفکیک شهرستان‌های استان، طی سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۹۰ براساس اطلاعات مندرج در سایت جهاد کشاورزی تعیین شد. نیاز آبی خالص سالانه و نیاز آبی ناخالص سالانهٔ محصولات زراعی گندم، جو و سیب‌زمینی از طریق اطلاعات و آمار موجود در طرح جامع ظرفیت‌یابی آب استان چهارمحال و بختیاری به تفکیک شهرستان به دست آمد. در اولین مرحلهٔ این پژوهش نیاز ویژه آبی محصولات زراعی عمده براساس متوسط نیاز خالص آبی و همچنین متوسط عملکرد آن محصول در سطح منطقه از طریق رابطهٔ ۱ محاسبه شد (عربی یزدی و همکاران، ۲۰۰۹ b):

رابطهٔ ۱)
$$\overline{SWD_C} = \frac{\overline{CWR_C}}{\overline{CY_C}}$$

SWDc: نیاز ویژهٔ آبی گیاه (مترمکعب آب در تن محصول)

CWRc: متوسط نیاز خالص آبی محصول در سطح منطقه (مترمکعب در هکتار)

Cyc: متوسط عملکرد محصول (تن در هکتار)

ردپای اکولوژیک آب در استان براساس روش بالا به پایین (VanOel et al., 2008) به دست می‌آید. ردپای اکولوژیک آب از طریق افزودن مقدار خالص واردات آب مجازی (واردات محصولات زراعی عمده) به استان به مجموع مقدار منابع آب داخلی مصرف‌شده برای تولید محصولات زراعی عمده ارزیابی می‌شود (غلامحسین‌پور جعفری‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۳):

رابطهٔ ۲) $$\text{Water footprint} = WU + NVWI$$

WU: مقدار کل آب مصرفی در سطح داخل استان برای تولید محصولات زراعی عمده (مترمکعب در سال)

NVWI: مقدار واردات خالص آب مجازی به استان (واردات محصولات زراعی عمده)

به بیان دیگر با توجه به آنکه همهٔ محصولات مصرفی در یک استان در داخل استان تولید نمی‌شوند، براساس تعریف (Hoekstra & Chapagain, 2007) ردپای اکولوژیک آب هر استان از طریق ردپای اکولوژیک آب داخلی و ردپای اکولوژیکی آب خارجی برآورد می‌شود (غلامحسین‌پور جعفری‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۳):

رابطهٔ ۳) $WF = WFi + WFe$

WFi: ردپای اکولوژیک آب داخلی (مقدار کل مصرف سالانه از منابع آب استان به‌منظور تولید محصولات زراعی عمده)

WFe: ردپای اکولوژیک آب خارجی

صادرات محصولات تولیدی از یک استان سبب صادرات آب از آن استان به خارج به‌صورت آب مجازی (Ve,d) می‌شود. این مقدار از منابع آب تجدیدپذیر ساکنان آن استان که صرف تولید محصولات زراعی عمده می‌شود کسر خواهد شد (خرمی وفا و همکاران، ۲۰۱۷):

رابطهٔ ۴) $WFi = WU - Ve.d$

ردپای اکولوژیک آب خارجی را می‌توان برابر با حجم و مقدار سالانهٔ منابع آبی که در استان یا در مناطق دیگر به‌منظور تولید محصولات وارداتی (واردات محصولات زراعی عمده) به استان تحت بررسی استفاده شده است در نظر گرفت. اگر استانی محصولات وارداتی خود را دوباره به استان‌های دیگر صادر کند (Ve,r)، باید حجم آب مجازی این محصولات از ردپای اکولوژیک آب خارجی کسر شود (اویسی و همکاران، ۲۰۱۹):

رابطهٔ ۵) $WFe = Vi - Ve.r$

صادرات آب مجازی را می‌توان شامل صادرات محصولات داخلی استان یا صادرات مجدد محصولات وارداتی به استان در نظر گرفت (اویسی و همکاران، ۲۰۱۹):

رابطهٔ ۶) $Ve = Ve.d + Ve.r$

شاخص شدت مصرف آب در استان را می‌توان از رابطهٔ ۷ به‌دست آورد (عربی یزدی و همکاران، ۲۰۰۹b).

رابطهٔ ۷) $$WI = \frac{WU}{WA} * 100$$

WI: شاخص شدت مصرف آب برای تولید محصولات زراعی عمده در استان تحت بررسی (درصد)

WU: کل برداشت داخلی آب به‌منظور استفاده در بخش کشاورزی برای تولید محصولات زراعی عمده (مترمکعب در سال).

WA: کل منابع آب موجود در استان که به امور کشاورزی مربوط به تولید محصولات زراعی عمده اختصاص یافته‌اند.

شاخص وابستگی به آب در استان چهارمحال و بختیاری از رابطهٔ ۸ به دست آمد (عربی یزدی و همکاران، ۲۰۰۹b). دامنهٔ این شاخص بین ۰ تا ۱۰۰ است. در این رابطه NVWI کل آب مجازی واردشده به منطقه است.

رابطهٔ ۸) $$WD = \frac{NVWI}{WU + NVWI} * 100$$

اگر WD<0 باشد منطقه صادرکنندهٔ آب مجازی است.

اگر شاخص WD به ۱۰۰ درصد نزدیک باشد منطقه واردکنندهٔ آب مجازی است.

اگر WD=0 واردات و صادرات ناخالص آب مجازی در تعادل است.

شاخص خودکفایی آب (WSS) منعکس‌کنندهٔ توانایی منطقه برای تأمین آب مورد نیاز به‌منظور استفاده در تولیدات داخلی است (رابطهٔ ۹). این شاخص اگر به عدد صفر نزدیک شود استان به‌شدت به واردات آب مجازی وابسته خواهد بود و اگر به ۱۰۰ نزدیک شود یعنی استان منابع آبی مورد نیاز برای تولید محصولات را در سطح داخلی خود داراست و به واردات آب مجازی نیاز نخواهد داشت (عربی یزدی و همکاران، ۲۰۰۹b).

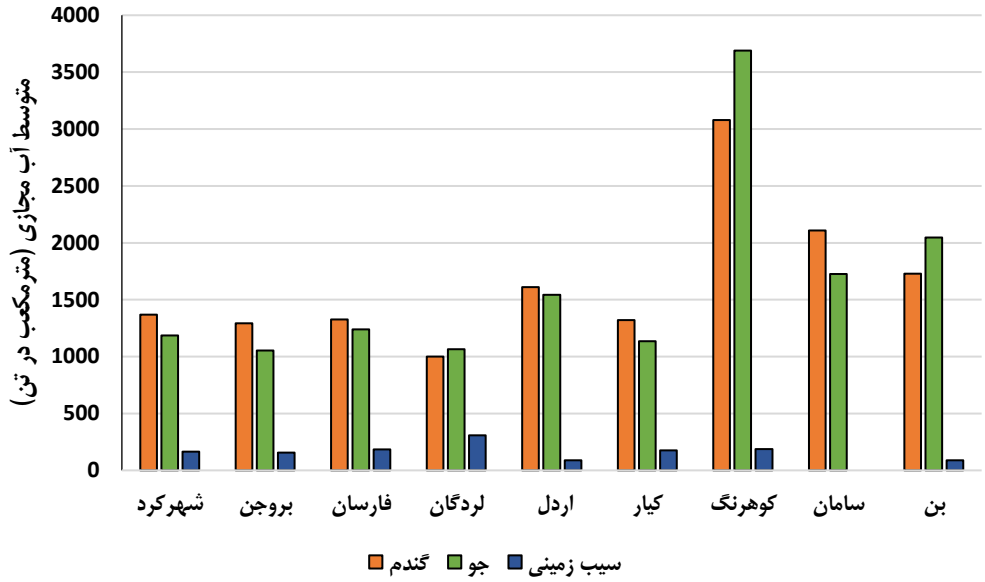
رابطهٔ ۹) $$WSS = \frac{WU}{WU + NVWI} * 100$$

۳. یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از بررسی اطلاعات مندرج در سایت جهاد کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری نشان داد که طی سال‌های پژوهش، بیشترین سطح زیر کشت به‌ترتیب مربوط به محصولات زراعی گندم، جو و سیب‌زمینی بوده است. بررسی و ارزیابی مقدار آب مصرفی برای کشت محصولات زراعی نیز نشان داد که با توجه به وسعت سطح زیر کشت، بیشترین مقدار آب برای کشت و تولید

گندم مصرف می‌شود و جو در رتبهٔ بعد جای دارد. افزون‌بر این می‌توان گفت تعداد بیشتری از شهرستان‌های استان از نظر نیاز آبی ناخالص مناسب کشت جو هستند و کشت این محصول به‌صورت غالب در این نواحی صورت گرفته است. اما کشت سیب‌زمینی بیشتر در نواحی‌ای صورت گرفته است که از نظر نیاز آبی ناخالص سالانه مناسب کشت این محصول نیستند.

براساس نیاز آبی خالص سالانهٔ محصولات زراعی گندم، جو و سیب‌زمینی و همچنین با استفاده از آمار مربوط به متوسط عملکرد هر یک از محصولات در هر شهرستان، آب مجازی ناشی از کشت گندم، جو و سیب‌زمینی برآورد شد. شکل ۲ متوسط مقدار آب مجازی محاسبه‌شده برای این محصولات را به تفکیک شهرستان طی دورهٔ زمانی پژوهش نشان می‌دهد.

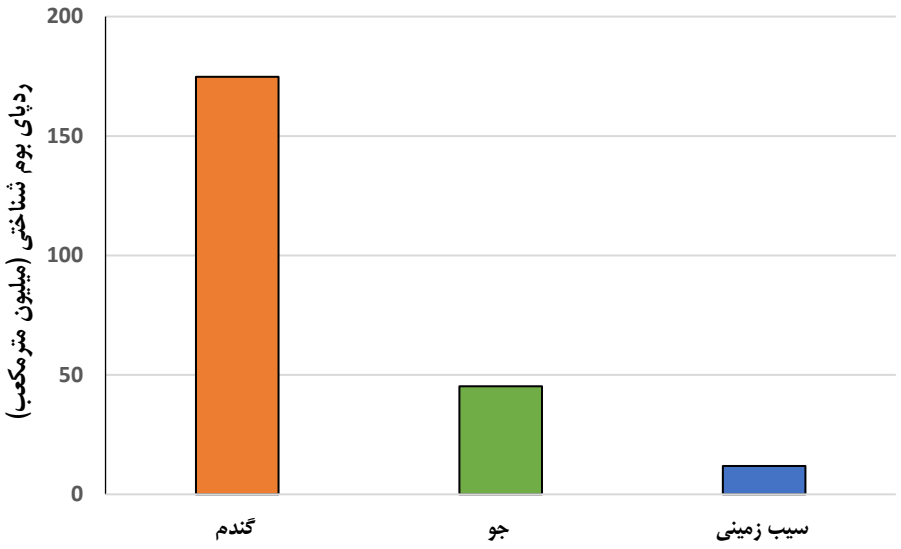


شکل ۲. مقدار متوسط آب مجازی محصولات زراعی گندم، جو و سیب‌زمینی طی سال‌های پژوهش به تفکیک شهرستان‌های استان

نتایج حاصل از بررسی مقدار آب مجازی حاصل از کشت گندم در شهرستان‌های استان چهارمحال و بختیاری نشان داد که شهرستان لردگان کمترین مقدار آب مجازی ناشی از کشت گندم را به خود اختصاص داده است. دلیل این موضوع را می‌توان کم بودن مقدار نیاز آبی خالص برای کشت گندم در این شهرستان دانست. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شهرستان لردگان از پتانسیل مناسب‌تری برای کشت گندم برخوردار است. شهرستان‌های بروجن و لردگان با توجه به نیاز آبی خالص کمتر و نیز عملکرد محصول بیشتر نسبت به شهرستان‌های دیگر برای کشت جو مناسب‌تر خواهند بود. شهرستان بن کمترین مقدار آب مجازی ناشی از کشت سیب‌زمینی را به خود اختصاص داده است. بیشترین مقدار آب مجازی برای تولید گندم و جو در شهرستان کوهرنگ ناشی از عملکرد کم این محصولات است. بنابراین باید در راستای جایگزینی این دو محصول با محصولات پربازده اقدام کرد.

به‌منظور بررسی ردپای اکولوژیکی آب استان مقدار کل آب مصرفی برای کشت هر سه محصول زراعی محاسبه شد. ردپای اکولوژیکی آب استان شامل دو مؤلفهٔ ردپای اکولوژیکی آب داخلی و نیز ردپای اکولوژیکی آب خارجی است. در این تحقیق ردپای اکولوژیکی آب داخلی برابر با کل مقدار آب مصرفی از منابع موجود در سطح داخلی استان برای کشت گندم، جو و سیب‌زمینی است. چنانچه صادرات محصولی از استان صورت گیرد، مقدار آب مصرفی محصولات صادراتی از ردپای اکولوژیکی داخلی کسر می‌شود. بررسی اطلاعات مندرج در سایت گمرک ایران و نیز تحقیقات از کارشناسان جهاد کشاورزی استان نشان داد که واردات و صادرات محصولات گندم و جو در استان صورت نمی‌گیرد. به بیان دیگر می‌توان گفت مقدار گندم و جو تولیدشده در داخل استان فقط برای مصرف جمعیت استان است. اما مقدار سیب‌زمینی تولیدشده در داخل استان بیشتر از مقدار مصرف ساکنان استان است. متأسفانه اطلاعاتی دربارهٔ صادرات سیب‌زمینی به استان‌های دیگر وجود ندارد. به‌منظور محاسبهٔ مقدار سیب‌زمینی مازاد بر نیاز استان، براساس بررسی‌ها، سرانهٔ سیب‌زمینی مصرف‌شده برای هر فرد در سال ۳۰ کیلوگرم تعیین شد و با در نظر گرفتن جمعیت استان در هر سال،

مقدار سیب‌زمینی مصرف‌شدهٔ جمعیت استان در هر سال برآورد شد. افزون‌بر این، مقدار بذر لازم برای کشت سیب‌زمینی در سال آینده برای هر هکتار ۴۵۰۰ کیلوگرم در نظر گرفته شد که با احتساب سطح زیر کشت مقدار بذر سیب‌زمینی برای سال آینده تعیین شد. اگر مقدار سیب‌زمینی مصرف‌شده توسط ساکنان استان و نیز مقدار بذر لازم برای سال آینده را از کل سیب‌زمینی تولیدشده در هر سال کسر کنیم، مقدار سیب‌زمینی مازاد بر نیاز استان در هر سال به دست می‌آید این مقدار در حقیقت همان مقدار سیب‌زمینی صادرشده از استان است که با برآورد وسعت سطح زیر کشت و نیز متوسط نیاز آبی ناخالص سالانه استان می‌توان مقدار آب خارج‌شده از استان ناشی از صادرات سیب‌زمینی را تعیین کرد. این مقدار حجم آب صادرشده از استان از کل مقدار آب مصرفی برای تولید محصول سیب‌زمینی در استان کسر می‌شود. نتایج در شکل ۳ ارائه شده است.

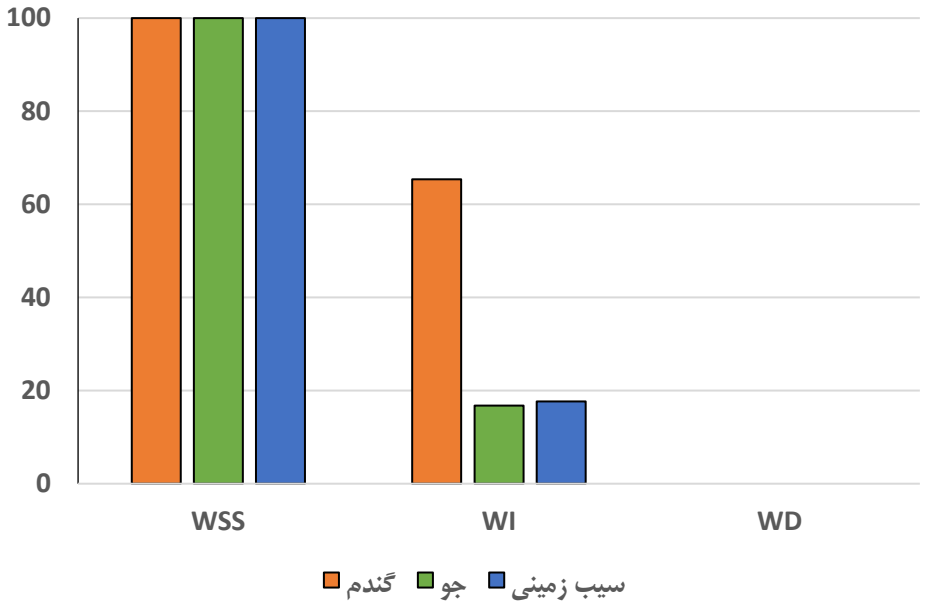


شکل ۳. ردپای بوم‌شناختی داخلی (میلیون مترمکعب در سال) محصولات زراعی گندم، جو و سیب‌زمینی استان چهارمحال و بختیاری

ردپای اکولوژیکی خارجی برای هر سه محصول زراعی گندم، جو و سیب‌زمینی به‌علت نبود واردات این محصولات به استان برابر با صفر است.

بررسی شاخص خودکفایی آب[1] (WSS) حاصل از کشت هر سه محصول گندم، جو و سیب‌زمینی طی سال‌های تحت پژوهش، چنانکه در شکل ۴ دیده می‌شود، نشان‌دهندهٔ عدد ۱۰۰ درصد بوده است. این موضوع حاکی از آن است که استان چهارمحال و بختیاری نیازی به واردات آب مجازی (واردات گندم، جو و سیب‌زمینی) ندارد. شاخص وابستگی به آب[2] مجازی (WD) برای گندم، جو و سیب‌زمینی به‌علت نبود وابستگی استان به واردات آب مجازی (واردات گندم، جو و سیب‌زمینی) برابر با صفر بوده است. زیرا برای گندم، جو و سیب‌زمینی طی سال‌های ذکرشده وارداتی ثبت نشده است. بررسی و ارزیابی شاخص شدت مصرف آب[3] (WI) حاکی از آن است که طی دامنهٔ زمانی پژوهش بیشترین مصرف آب حاصل از کشت گندم بوده است.

1 Water Self Sufficiency (%)
2 Water Dependency (%)
3 Water Consumption Index



شکل ۴. شاخص‌های WI, WD و WSS کشت‌های مختلف (درصد)

۴. بحث و نتیجه‌گیری

حکمرانی آب اهمیت زیادی در هدایت مدیریت یکپارچهٔ منابع آب در راستای تحقق اهداف توسعهٔ پایدار به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه دارد (Duc et a., 2024). حکمرانی آب شامل مفاهیم و رویکردهای مختلفی است و تعامل بازیگران و سازمان‌های مختلف به‌همراه چارچوب‌های نهادی تعریف‌شده، دستیابی به نتایج مطلوب توسعهٔ پایدار را تسهیل می‌کند (Ahopelto, et al., 2024). مدیریت آب در بخش کشاورزی به‌دلیل اهمیت پایداری و امنیت در تأمین غذا برای جمعیت رو به رشد، در تقابل با چالش‌های فزاینده از جمله تغییر اقلیم ضروری است. حکمرانی مؤثر آب، مؤلفه‌ای حیاتی در دستیابی به امنیت آب و غذا در شرایط بروز چالش‌های محیط زیستی و اقتصادی اجتماعی، شناخته شده است. حکمرانی مؤثر باید انعطاف‌پذیر باشد و پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت‌های ذاتی منابع آب را بهتر مدیریت کند. نقش حکمرانی آب در تغییر سیاست‌ها، تعیین ظرفیت‌ها و استفاده از فرصت‌ها برجسته می‌شود (Sismani et al., 2024). در سال‌های اخیر، توسعه راهبردهای مختلف در بخش کشاورزی، در مدیریت پایدار حوضه اثربخش بوده است. از جمله توجه به مفهوم ردپای آب و محاسبات انتقال مجازی آب در بسیاری از کشورها به‌ویژه در مدیریت محصولات کشاورزی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به گنجاندن دیدگاه جدیدی در مورد این موضوع، این مفاهیم هنوز به اندازهٔ کافی در ایران بررسی نشده است. پژوهش حاضر با هدف الگوسازی برای دیگر محصولات کشاورزی یا بخش‌های دیگر و گسترش مطالعات مدیریت آب در کشورمان انجام گرفته است. این واقعیت که محتوای آب مجازی محصولات در مناطق مختلف متفاوت است به این درک منجر شده است که انتقال کالا یا خدمات از/به هر منطقه تنش یا سود متفاوتی ایجاد می‌کند؛ اما در شرایط سوء مدیریت محاسبات آب مجازی و ردپای اکولوژی مصارف آب در بخش کشاورزی نیز مغفول مانده است. در استان چهارمحال و بختیاری نیز، افزایش جمعیت و نیاز به تولید غذا، سبب گسترش اراضی کشاورزی بدون توجه به پیامدهای برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی شده است. مقدار نیاز آبی خالص سالانه و نیز نیاز آبی ناخالص سالانه برای کشت گندم، جو و سیب‌زمینی در شهرستان‌های مختلف استان چهارمحال و بختیاری متفاوت است. این مسئله می‌تواند در انتخاب بهتر اراضی برای تأمین نیازهای کشاورزی کمک‌کننده باشد. با توجه به نتایج تحقیق کمترین نیاز آبی خالص سالانه و آب مجازی برای کشت محصول زراعی گندم مربوط به شهرستان لردگان است. بنابراین کشت محصول گندم در لردگان مناسب‌تر خواهد بود. همچنین کشت محصول زراعی جو در شهرستان‌های بروجن و لردگان با توجه به نیاز آبی خالص سالانهٔ کمتری که نسبت به شهرستان‌های دیگر دارند و به تبعیت از آن کمتر بودن مقدار آب مجازی که تحت تأثیر مستقیم نیاز آبی خالص سالانه است مناسب‌تر خواهد بود. کشت محصول زراعی سیب‌زمینی نیز در شهرستان‌های سامان و بن با توجه به مقدار نیاز خالص آبی سالانه و آب مجازی کمتر

نسبت به شهرستان‌های دیگر مناسب‌تر خواهد بود. نیاز آبی ناخالص سالانه نسبت نیاز خالص آبی سالانه به راندمان آبیاری است. کم بودن مقدار نیاز آبی خالص سالانه نشان‌دهندهٔ کم بودن نیاز آبی ناخالص سالانه است. ازآنجایی‌که نیاز آبی ناخالص سالانه بر کل آب مصرفی تأثیر می‌گذارد، می‌توان گفت کم بودن مقدار نیاز آبی خالص سالانه به‌معنای کم بودن نیاز آبی ناخالص سالانه و نیز اندک بودن حجم آب مصرفی یک محصول در آن منطقه است. متوسط وزنی مقدار آب مجازی هر تن گندم، جو و سیب‌زمینی در استان به‌ترتیب ۱۴۲۶، ۱۳۱۳ و ۱۵۹ مترمکعب محاسبه شد. بنابراین می‌توان گفت شهرستان‌هایی که بیشتر از متوسط استان برای تولید این محصولات آب مجازی مصرف می‌کنند برای کشت مناسب نیستند.

عربی یزدی و همکاران (۲۰۰۹a) در تحقیق خود که برای کل ایران در سال ۱۳۸۵ انجام دادند، مقدار آب مجازی گندم و جو را برای استان چهارمحال و بختیاری نزدیک به ۱۰۰۰ مترمکعب در هر تن محصول به‌دست آوردند که با نتایج تحقیق ما همخوانی دارد. آنها آب مجازی سیب‌زمینی را ۳۴۵ مترمکعب در هر تن برآورد کردند که نسبت به استان چهارمحال و بختیاری بسیار بیشتر است. سالاری و همکاران (۲۰۱۴) در استان سیستان و بلوچستان مقادیر ۱۵۹۰ و ۶۱۸۰ مترمکعب در یک تن گندم را حداقل و حداکثر مقدار آب مجازی لازم برای کشت گندم در شهرستان‌های این استان اعلام کردند که نسبت به استان چهارمحال و بختیاری بیشتر است. خرمی وفا و همکاران (۲۰۱۷) در منطقهٔ کوزران کرمانشاه، مصرف آب مجازی برای گندم را با توجه به بهره‌وری آب بین ۲۲۰۰ تا ۳۷۰۰ مترمکعب در تن برآورد کردند که از مقدار متوسط استان چهارمحال و بختیاری و حتی از شهرستان کوهرنگ بیشتر است. طبق نتایج تحقیق اویسی و همکاران (۲۰۱۹) در استان اصفهان برای تولید هر کیلوگرم گندم ۲۴۱۰ لیتر آب مصرف می‌شود. اصفهان که در گذشته با صادرات گندم آب مجازی را صادر می‌کرد، اکنون به واردکنندهٔ آب مجازی تبدیل شده است. اویسی و همکاران (۲۰۱۹) ردپای اکولوژیک گندم در استان اصفهان را ۵/۸۷ میلیارد مترمکعب در سال، شدت مصرف آب این محصول را با بازده آبیاری ۴۸ درصد، ۱۴ درصد و شاخص خودکفایی این محصول را ۵۷ درصد برآورد کردند. اوید و همکاران (۲۰۲۰) نیز واردات گندم را راهی برای صرفه‌جویی آب در عراق می‌دانند. سبزقبایی و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیق خود در استان خوزستان به این نتیجه رسیدند که برمبنای ردپای اکولوژیک گندم، بیشتر مناطق این استان پتانسیل زیادی در تولید و صادر کردن گندم به مناطق دیگر ایران دارند، اما در منطقهٔ هفتگل و باغملک صرفهٔ اقتصادی ندارد.

استان چهارمحال و بختیاری علی‌رغم نام پرآوازه‌اش که یادآور رودهای روان و چشمه‌های جوشان است، آسیب‌های عمیقی از سوء مدیریت و نادرستی حکمرانی منابع آب بر پیکر خود دارد. حکمرانی آب، به‌خصوص در بخش کشاورزی چالش عمدهٔ کشور و استان چهارمحال و بختیاری است. ارزیابی نظام حکمرانی آب برای رسیدن به اهداف توسعهٔ پایدار می‌تواند به اثربخشی آن بر حفظ و حتی بهبود کمیت و کیفیت منابع آب کمک کند. ارزیابی شاخص‌های مختلف ابزاری است که در راستای ارزش‌یابی نظام حکمرانی منابع آب دلایل تحقق نیافتن اهداف توسعهٔ پایدار را روشن می‌کند. در بین ابعاد مسئلهٔ حکمرانی منابع آب، پرداختن به بعد فنی و توجه به مقدار مصرف آب در بخش‌های مختلف و به‌ویژه تمرکز بر مقدار آب مجازی در هر بخش ضروری است. توجه به انتقال آب مجازی از طریق وارد یا صادر کردن محصولات کشاورزی نیازمند محاسبهٔ این مؤلفه در هر منطقه است. با محاسبهٔ مقادیر نیاز آبی و ردپای اکولوژی محصولات عمدهٔ کشاورزی، نگاه تصمیم‌گیران و مدیران به مسائل حکمرانی آب شفاف‌تر خواهد شد. توجه به انتقال آب مجازی یکی از ابعاد مسئلهٔ حکمرانی آب است که می‌تواند در تعادل‌بخشی در استفاده از منابع آب در بخش کشاورزی کمک کند. در این زمینه مفهوم جهانی شدن آب به منصهٔ ظهور رسیده است. برخی از کشورهایی که از کمبود آب رنج می‌برند، به‌ویژه با واردات محصولات محتوی آب مجازی از کشورهای دیگر، سعی در حفاظت از منابع آبی خود دارند. در مطالعات و تریبون‌های علمی بین‌المللی مطرح شده است که این وضعیت توسط کشورهای دارای منابع آبی غنی و محتوای آب مجازی کم به یک فرصت تبدیل شده است و برای آب ارزش اقتصادی خواهد داشت.

از طرفی بسیاری از کشورهای در حال توسعه و کم‌آب از جمله ایران، همزمان مسائل متعددی را در زمینهٔ توسعهٔ پایدار تجربه می‌کنند. بحران آب در این کشورها، بیشتر ناشی از نبود حکمرانی صحیح آب است و حل آن مستلزم نظم بخشیدن به نظام‌های حکمرانی آب و توجه به تمام ابعاد آن است. حکمرانی آب، ابعاد سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و نهادی/ سازمانی دارد و از همهٔ این ابعاد برای توسعه و مدیریت منابع آب در راستای اهداف توسعهٔ پایدار بهره می‌برد. به‌منظور تدوین سیاست‌های مؤثر و اجرای آن‌ها

باید تمام ذی‌مدخلان از سطوح خرد تا کلان مشارکت داشته باشند. اقدام برای بهبود حکمرانی آب، نیازمند چارچوب قانونی منسجم و سیستم نظارتی قوی و مستقل و شفاف‌سازی و اعتماد بین همهٔ ذی‌نفعان است. جنبه‌های حکمرانی با جنبه‌های فنی و اقتصادی بهره‌برداری از آب اشتراک دارد و جنبه‌های سیاسی و اداری حل مسائل بهره‌برداری را بارزتر می‌کند. روابط بین سازمان‌ها و نهادهای سیاسی، اقتصادی و اجتماعی در حاکمیت درست منابع آب بهینه و تقویت می‌شود و پیچیدگی‌های توسعه و مدیریت منابع آب، تخصیص عادلانه و کارآمد و تضمین پایداری زیست‌محیطی مستلزم نهادینه کردن اصول حکمرانی صحیح منابع آب است.

References

Ababaei, B., & Ramezani Etedali, H. (2014). Estimation of Water Footprint Components of Iran's Wheat Production: Comparison of Global and National Scale Estimates. *Journal of Environmental Processes*, 1:193-205. https://doi.org/10.1007/s40710-014-0017-7

Ahopelto, L., Sojamo, S., Belinskij, A., Soininen, N., & Keskinen, M. (2024). Water governance for water security: analysing institutional strengths and challenges in Finland. *International Journal of Water Resources Development*, *40*(2), 153-173. https://doi.org/10.1080/07900627.2023.2266733

Allan, J.A. (1998). Virtual Water: a strategic resource: global solutions to regional deficits. *Groundwater,* 36:545-546. https://link.gale.com/apps/doc/A20990296/AONE?u=anon~9045cfc3&sid=googleScholar&xid=ec3e8585

Angeles, G. (2011). *Sustainable water management in Ciudad Juarez*. PhD dissertation, Arizona State University, Arizona, USA. https://www.researchgate.net/profile/Rimjhim-Aggarwal/publication/268437090_Sustainable_Water_Management_in_Ciudad_Juarez/links/54dd8c1e0cf25b09b913f165/Sustainable-Water-Management-in-Ciudad-Juarez.pdf

Arabi Yazdi, A., Alizadeh, A., & Mohammadian, F. (2009.a). Study on Ecological Water Footprint in Agricultural Section of Iran. *Journal of Water and Soil*, 23(4), 1-15. (in Persian) https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.2463

Arabi Yazdi, A., Alizadeh, A., & Nairizi, S. (2009.b). Study of food security based on the concept of virtual water trade and ecological water foot print (Case study: Khorasan Razavi Province). *Journal Agroecology*, 1: 1-12. https://agry.um.ac.ir/article_25871_e98eb33d704066cb96af9aaed6666978.pdf

Babaei, H., Nazari-Sharabian, M., Karakouzian, M., & Ahmad, S. (2019). Identification of critical source areas (CSAs) and evaluation of best management practices (BMPs) in controlling eutrophication in the Dez river basin. *Environments* 6, 20. https://doi. org/10.3390/environments6020020

Bakhshoodeh, M., & Dehghanpur, H. (2015). Modeling crop cultivation pattern based on virtual water trade: evidence from Marvdasht in southern Iran. *Iran Agricultural Research* 34(2): 29-34. (in Persian)

Bazrafshan, O., & Gerkani Nejad Moshizi, Z. (2018). The Impacts of Climate Variability on Spatiotemporal Water Footprint of Tomato Production in The Hormozgan, *Water and Soil*, 23(1), 29-43. Doi: https://doi.org/10.22067/jsw.v32i1.68792 (in Persian)

Bijani, M., Hayati, D., Azadi, H., Tanaskovik, V., & Witlox, F. (2020). Causes and consequences of the conflict among agricultural water beneficiaries in Iran. *Sustainability,* 12, 6630. https://doi.org/10.3390/su12166630.

Chapagain, A.K. Hoekstra, A.Y. Savenije, H.H.G., & Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries, *Ecological Economics,* 60, 186-203. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.027

Chouchane, H. Hoekstra, A.Y. Krol, M.S., & Mekonnen, M.M. (2015). The water footprint of Tunisia from an economic perspective. *Ecological Indicators,* 52, 311–319. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.015

Dehghanpur, H., & Bakhshoodeh, M. (2007). Investigating virtual Water trade limitation issues in Marvdasht region. *Journal of Agricultural Sciences and Industries, Specializing in Economics and Agricultural Development*, 22, (1), 137-147. (in Persian)

Ding, Y. (2005). *The choices of irrigation technologies and groundwater conservation in the Kansas High Plains: a dynamic analysis.* PhD dissertation in agricultural economics, College of Agriculture, Kansas State University. Kansas, USA. https://www.proquest.com/openview/b5a70c48e55c7f7eb4cebb1a524cde8d/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y

Duc, N.H., Kumar, P., Long, P. T., Meraj, G., Lan, P. P., Almazroui, M., & Avtar, R. (2024). A Systematic Review of Water Governance in Asian Countries: Challenges, Frameworks, and Pathways Toward Sustainable Development Goals. *Earth Systems and Environment*, *8*(2), 181-205. https://doi.org/10.1007/s41748-024-00385-1

Ehsani, M. Khaledi, H., & Barghi, Y. (2009). Introduction to virtual water. *Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID)*. 112 pp. (in Persian)

Ewaid, S.H., Abed, S. A., Abbas, A. J., & Al-Ansari, N. (2020). Estimation the virtual water content and the virtual water transfer for Iraqi wheat. In *Journal of Physics: Conference Series* :1664(1): 012143. IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1664/1/012143

Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., & West, P. C. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337–342. https://doi.org/10.1038/nature10452

Fotouhi Firoozabad, F., & Afkhami Ardakani, H. (2022). Evaluation and Comparison of Interpolation and Linear Regression Methods to Determine the Spatial Distribution of Precipitation in Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran. *Environment and Water Engineering*, *8*(1), 218-232. https://doi.org/10.22034/jewe.2021.291533.1584

Gholamhossein pour Jafari Nejad, A., Alizadeh, A., & Neshat, A. (2013). Study on Ecological Water Footprint and indicators of virtual water in Agricultural Section of Kerman Province. *Water and Irrigation Engineering Journal*, 4(13), 80-89. https://www.waterjournal.ir/article_70867_en.html?lang=fa (in Persian)

Graham, N.T., Hejazi, M.I., Kim, S.H., Davies, E.G., Edmonds, J.A., & Miralles-Wilhelm, F. (2020). Future changes in the trading of virtual water. *Nature communications*, *11*(1), 3632. https://doi.org/10.1038/s41467-020-17400-4

Hoekstra, A.Y., & Chapagain, A.K. (2007). Water footprint of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resource Management*, 21 (1), 35-48. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5591-1_3

Jayasiri, M.M.J.G. C. N., Yadav, S., Dayawansa, N. D. K., & Ingold, K. (2022). Managing agricultural water resources: Addressing the complexity of innovation, social perspectives, and water governance in Sri Lanka. *Irrigation and drainage*, 71, 71-85. https://doi.org/10.1002/ird.2693

Khoramivafa, M., Nouri, M., Mondani, F., & Veisi, H. (2017). Evaluation of Virtual Water, Water Productivity and Ecological Footprint in Wheat and Maize Farms in West of Iran: a Case Study of Kouzaran Region, Kermanshah Province, *Journal of Water and Sustainable Development*, 3(2),19-26. https://doi.org/10.22067/JWSD.V3I2.50280 (in Persian)

Lenzen, M., Bhaduri, A., Moran, D., Kanemoto, K., Bekchanov, M., Geschke, A., & Foran, B. (2012). The role of scarcity in global virtual water flows. *Social Science Research Network* 169: 1436-9931. https://ssrn.com/abstract=2148413

Liner, B. (2009). *Goal programming for sustainability in total water management*. PhD dissertation in civil, environmental, and infrastructure engineering, George Mason University. https://www.proquest.com/openview/556c5051f7a4b4a0998de1e5dbb5ffaa/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750

Liu, X., Shi, L., Engel, B.A., Sun, S., Zhao, X., Wu, P., & Wang, Y. (2019). New challenges of food security in Northwest China: Water footprint and virtual water perspective, *Journal of Cleaner Production*, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118939 .

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2020). Blue water footprint linked to national consumption and international trade is unsustainable. *Nature Food, 1(12), 792–800.* https://doi.org/10.1038/s43016-020-00198-1

Mekonnen, M.M. & Hoekstra, A.Y. (2010). Mitigating the water footprint of export cut flowers from the Lake Naivasha Basin, Kenya. *Water Resources Management*, 26(13): 3725-3742. https://www.waterfootprint.org/publications/

Miranda, L., Hordijk, M., & Molina, R.T. (2011). Water governance key approaches: an analytical framework. *Literature Review*, *4*, 1-23. http://chance2sustain.eu/fileadmin/Website/Dokumente/Dokumente/Publications/Chance2Sustain_-_Literature_Review_No.4_-_Water_Governance_Key_Approaches_An_Analytical_Framework.pdf

Mojtabavi, S.A. Shokoohi, A. Ramezani Etedali, H., & Singh, V. (2018). Using regional virtual water trade and water footprint accounting for optimizing crop patterns to mitigate water crises in dry regions. *Irrigation and Drainage*, 67(2), 295-305. https://doi.org/10.1002/ird.2170

Moshir Panahi, D., Destouni, G., Kalantari, Z., & Zahabiyoun, B. (2022). Distinction of driver contributions to wetland decline and their associated basin hydrology around Iran. *J. Hydrol: Reg. Stud*. 42, 101126 https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101126.

Mousavi, S. N., Akbari, S. M., Soltani, G., & Zare Mehrjardi, M. (2009). Virtual water; A new solution to deal with the water crisis. *National Water Crisis Management Conference*. Marvdasht, Iran. https://sid.ir/paper/809678/fa (in Persian)

Nouri, M., Homaee, M., Pereira, L. S., & Bybordi, M. (2023). Water management dilemma in the agricultural sector of Iran: A review focusing on water governance. *Agricultural Water Management*, *288*, 108480. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108480

Olivier, T. & Vallury, S. (2024). Institutional Fit and Policy Design in Water Governance: Nebraska's Natural Resources Districts. *Policy Studies Journal* 52 (4), 809–832. https://doi.org/10.1111/psj.12550.

Oveisi, F., Fattahi Ardakani, A., & Fehresti Sani, M. (2019). Investigation of virtual water and ecological footprints of water in wheat fields of Isfahan Province, *Journal of Water and Soil Science*. 23(1), 87-99. https://jstnar.iut.ac.ir/article-1-3636-en.html

Pahl-Wostl, C. (2015). Water Governance in the Face of Global Change: From Understanding to Transformation. Germany: Springer International Publishing.

Pouran, R., Raghfar, H., Ghasemi, A., & Bazazan, F. (2017). Evaluating the economic value of virtual water with maximizing productivity of Irrigation water. *Quarterly Journal of Applied Economics Studies Iran*, 6(21),189-212. Doi: 20.1001.1.23222530.1396.6.21.9.6 (in Persian)

Radmanesh, M., Ahmadi, S.H., & Sepaskhah, A.R. (2023). Measurement and simulation of irrigation performance in continuous and surge furrow irrigation using WinSRFR and SIRMOD models. *Scientific Rep*orts, 13, 5768 https://doi.org/10.1038/s41598-023-32842-8.

Rogers, P., & Hall, A.W. (2003). Effective Water Governance. *Global Water Partnership Technical Committee (TEC)*. https://hdl.handle.net/10535/4995

Sabzghabaei, G.R., Bohlolzadeh, A., & Dashti, S. (2021). Ecological Water Footprints and Virtual Water for Wheat and Rice Products in Khuzestan Province in Order to Manage Water Resources Sustainability. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2(15), 329-341. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1400.15.2.9.1 (in Persian)

Salari, S., Karandish, F., & Darzi-Naftchali, F. (2014). Spatial and Temporal analyses of the wheat virtual water variations in Sistan and Balouchestan Province. *Water and Irrigation Engineering Journal*, 5(18): 81-94. https://www.waterjournal.ir/article_73646_en.html?lang=en (in Persian)

Salehnia, N., & Bastani, M. (2018). Considering Virtual Water Trade Strategy of Crops and Horticultural Products in Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 11(5), 750-762. https://idj.iaid.ir/article_59835.html (in Persian)

Shi, C., & Zhan, J. (2015). An input-output table-based analysis on the virtual water by sectors with the five northwest provinces in China. *Physics and Chemistry of the Earth*, *Parts A/B/C*, 79: 47-53. https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.03.004

Sismani, G., Pisinaras, V., & Arampatzis, G. (2024). Water Governance for Climate-Resilient Agriculture in Mediterranean Countries. *Water*, *16*(8), 1103. https://doi.org/10.3390/w16081103

Stratton, S. (2008). *Groundwater management with heterogeneous users: political and economic perspectives*. PhD dissertation in agricultural and resource economics, University of California. Berkeley.

Taghipoor Javi, A. & Barimani, F. (2023). Assessing the groundwater governance in critical prohibited plains of Chaharmahal and Bakhtiari Province (Emphasizing the effectiveness principle of OECD). *Journal of Iran-Water Resources Research*. 19(3), 57-78. https://dor.asac.ac/dor/20.1001.1.17352347.1402.19.3.4.3 (in Persian)

Tian, G. (2013). Effect of Consumption of Livestock Products on Water Consumption in China Based on Virtual Water Theory. *International Conference on Future Information Engineering,* 5 (3), 112 – 117. https://doi.org/10.1016/j.ieri.2013.11.079

Vanoel, P.R., Mekonnen, M.M. & Hoekstra, A.Y. (2008). The external water footprint of the Netherlands: Quantification and impact assessment. *Value of Water Research Report Series*, No. 33, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands. 72 p. http://www.unesco-ihe.org/Value-of-Water-Research-Report-Series/Research-Papers

Wierik, S.A., Gupta, J., Cammeraat ELH, Artzy-Randrup Y.A. (2020). The need for green and atmospheric water governance. *WIREs Water*, 7,1406. https://doi.org/10.1002/wat2.1406

Zhang, F., Jin, G., & Liu, G. (2021). Evaluation of virtual water in the Yellow River delta, China. *Science and Total Environment*. 784(147285),1-8. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147285